階層メニュー探索時における認知負荷の瞬目による検討¹⁾

松尾太加志 (北九州市立大学文学部)

Investigating the cognitive loads involved in searching hierarchical menus using eyeblinking as an index

Takashi MATSUO (*Faculty of Humanities, The University of Kitakyushu*)

The purpose of this paper is to investigate the cognitive load involved in searching hierarchical menus on a computer display by eyeblinks as an index. The participants were given the task of searching WWW pages created for the experimental purposes according to a predetermined order. Two experimental conditions were prepared. One condition required participants to self select a location to follow, while the other simply required the participants to click on the "NEXT" icon. The results indicate that there were no differences between the two conditions. Eyeblinks were suppressed, however, when menu items were selected and this was followed by a burst of eyeblink. This phenomenon would seem to be related to cognitive load. The eyeblinking indicates that there are cognitive loads involved in sequential searching of hierarchical menus.

Key words: eyeblink, cognitive load, hierarchical menu

この論文の目的は、コンピュータディスプレイ内における階層的メニューの探索時の認知負荷について瞬目を指標として検討することである。実験参加者の課題は実験のために作成されたWWWページをあらかじめ定められた順序に従って探索することである。2つの実験条件が準備された。ひとつは、自分で次の場所を探す条件で、もうひとつは、“NEXT”アイコンをクリックするだけの条件である。その結果、2つの条件間に違いは見られなかった。しかし、メニュー項目の探索時には瞬目が抑制され、その後に頻発する現象が見られた。この現象は、認知負荷によって生じたものと考えられる。瞬目によって、階層的メニューの連続探索時の認知負荷を確かめることができた。

キーワード：瞬目、認知負荷、階層メニュー

序

最近のコンピュータ応用機器では、階層的なメニュー構造の中から必要な項目を選択する操作が強いられる。たとえば、ホームページを閲覧するとき、自分が見たいページの項目をクリックしなければならない。しかし、どの項目をクリックすればよいのかわからないことがある。このような場面では、利用者に認知負荷がかかっていると考えられる。しかし、利用者が階層メニューを探索するときにどのような場合に認知負荷がかかるのかについては実証的に調べられていない。階層メニューのユーザビリティを検討する上では実証的な基礎実験が必要である。そこで、本研究では、認知負荷の指標として瞬目を用い、階層メニュー探索時のどのような場面で認知負荷がかかるのかを実験的に検討する。瞬目は認知活動の指標として有効であることが示されているが

(Stern, Walrath, & Goldstein, 1984; Fukuda & Matsunaga, 1983; Ohira, 1996)、統制された刺激を用いた実験で実施されているのみで、機器操作場面のような応用的な場面では行われていない。機器操作のような場面においては瞬目を疲労の指標とした実験(Yamada, 1998)がなされているにすぎない。そこで、本研究では、機器操作場面として階層構造をしたホームページの連続探索課題を与え、階層メニュー探索時の認知負荷について、瞬目を指標として検討する。

メニュー探索と認知負荷の測定 認知負荷は、所与の作業を行う際に、必要とされる認知的資源の程度を指し、その量が相対的に多い場合、認知負荷がかかっていると一般には言われている(Sweller, van Merriënboer, & Paas, 1998)。処理プロセスを多く必要としたり、処理に時間がかかったり、注意や記憶の負荷が高い場合、認知負荷がかかることになる。Sweller et al. (1998)は、認知負荷には、課題によってもたらされる心的負荷の次元と学習者の心的努力の次元の両方を考慮しなければならないと述べている。そのため、まず、メニュー探索という課題においてどのような処理プロセスが働き心的負荷がも

1) 本論文の実験は、梅村 瞳さんの卒業論文(北九州市立大学文学部人間関係学科1999年度)、山内麻子さんの卒業論文(同2000年度)として行われたものです。ここに、記して感謝いたします。

Figure 1. メニュー探索の処理モデル. Norman (1991) を改変

たらされるのかを考慮し、認知負荷の測定においては心的努力の側面から検討する必要がある。メニュー探索のプロセスについては、Norman (1991) が、走査、記号化、照合の3つのプロセスを仮定している。ただし、これはターゲットが特定している場合であり、冒頭に述べたようにどの項目が探索すべき項目（ターゲット）になるのかわからない場合では、最後の照合のプロセスのところが評価のプロセスとなると Norman は述べている。評価のプロセスとは、自分が探したい内容にどの程度近いかを評価する過程である。このように、どのような課題が課せられるかによって、同じメニュー探索でも、心的負荷が異なる。本実験では、後述するが、あらかじめ決められた順序で連続探索課題を行うため、ターゲットが特定できており、照合のプロセスは、すでに探索終了した項目との記憶照合となる。さらに最終的な項目選択時には、マウスクリックという運動反応が要求される。つまり、走査、記号化、記憶照合、クリックというプロセスを仮定できる (Figure 1)。

心的努力としての認知負荷の測定には、主観的評価、生理学的方法、課題成績によるものが考えられている (Sweller et al., 1998)。ユーザビリティ評価の観点からも同様な測度が検討されている (松尾, 1999)。その中でも課題遂行時間を指標としてとられることが多い。たとえば、Card, Moran, & Newell (1983) は、コンピュータ利用者の行動を情報処理過程としてとらえ、各処理段階に費やす時間を推測した Model Human Processor を提唱している。このモデルによると、処理段階のステップが増えれば課題達成時間は増加する。処理段階のステップは、課題の難易度が高くなると増えるため、認知処理段階の増加は、認知負荷を高める要因であり、それに伴う課題達成時間の変動は認知負荷の指標として考えることができる。

このようなモデルに代表されるように、課題達成時間を測定することによって、機器操作のユーザビリティを評価する試みがなされており、それらの結果を認知負荷

の指標としてとらえることも可能である。階層メニューの選択行動に関しては、階層の深さやメニュー項目数についての検討がなされている。たとえば、MacGregor & Lee (1987) は、ビデオテキストのメニュー階層に関して、読みの速度、操作の速度、コンピュータの応答時間などの要因を総合して、探索時間が最小になるのは、メニューの項目数が4～8項目程度の場合であると報告している。また、小松原 (1991) は、単層メニューにおけるグループ化について、探索時間が短くなるのは、グループ数とグループ内の項目数の積の平方根に両者の値が近くなるように設定した場合だと述べている。小松原は Card et al. (1983) が工学的モデルとして提唱した Keystroke-level model (KLM) をベースに実験結果の妥当性を検討している。

また、DeStefano & LeFevre (2007) は、ハイパーテキストの場合における認知負荷の要因のひとつとしてリンクの数を挙げている。リンク数が多いとそれだけ意思決定を必要とし、認知負荷が高くなると述べている。McDonald & Stevenson (1996) は、リンクをたどるのに Next をクリックするだけでよい場合が、階層構造やウェブリンク構造をしている場合に比べて、解答が早かったり、迷子になることが少なかったことを報告している。リンクの数が増えると、それだけ走査、記号化、照合のプロセスが増えるためだと考えられる。

これらの評価では主として時間が判断基準となっている。しかし、時間が短かければ認知負荷が低いわけではない。作業時間が短くとも、注意の資源が必要であったり、記憶負荷がかかったりすることがある。また、課題遂行時間とともに、エラーや作業量といった課題成績を指標とする場合もあるが、ここではより直接的に認知負荷を検討することとしたい。そこで、本研究では、認知負荷の指標として生理的指標の瞬目を利用する。

瞬目と認知過程 瞬目は、目の保護や防衛といった生理的な反射だけではなく、認知的処理過程と関連があることが知られている。Stern et al. (1984) は、認知的対象と関連のある瞬目を、反射や自律性の瞬目と区別して、“endogenous blink”と呼んでいる。これは、内的な認知過程に伴うもので、Stern らは認知活動を表す有効な指標となると指摘している。とくに、分離試行課題と呼ばれる課題 (福田・山田・田多, 1990) を行った場合、与えられた課題に対する処理が終了した時点で瞬目が頻発し、処理を行っている最中には、瞬目が抑制されることが知られている (田多・山田・福田, 1991)。

Fukuda & Matsunaga (1983) は、聴覚弁別課題を行なわせたときの瞬目の発生を次のように報告している。予告刺激が提示された直後から瞬目発生が徐々に抑制され、刺激提示中まで抑制が続き、刺激提示直後に瞬目が多発する。さらに、反応が終了した後に多発を示した。

つまり、刺激の予期や処理の最中は瞬目が抑制され、処理が終了した時点で抑制が解除され、瞬目が多発している。これは、認知的過程に瞬目が深く関与していることを示している。

Ohira (1996) は、視覚刺激を用いた実験で、課題の困難度によって、瞬目の発生が異なることを報告している。課題は、プライミング効果を利用した単語読み上げ課題で、プライム刺激とその直後に与えられるターゲット刺激の単語を読み上げることが実験参加者の課題である。プライム刺激にターゲット刺激と関連のないものを提示することやターゲット刺激を回転文字で表示することによって、課題の困難度を操作している。その結果によると、課題の困難度が高い場合、ターゲット刺激提示直後の瞬目率が低下している。そして低下後、再度瞬目率は高くなっている。つまり、与えられた課題の認知負荷が高いほど瞬目の抑制が発生している。

これらの知見は、与えられた作業課題が作業者にどの程度の認知負荷がかかっているか瞬目を通して知ることができることを示唆している。そして、分離試行パラダイムの手続きによって、どの時点で認知負荷が高いかを知ることができ、分離試行パラダイムは、階層メニュー探索時の認知負荷を知るためには有効な方法である。

目的 そこで、本研究では、階層メニュー探索課題として、WWW ブラウザによるホームページ閲覧課題を用い、階層メニュー連続探索時のどの段階で認知負荷が生じるのか、瞬目を指標として検討する。後述する当論文でのホームページ閲覧は、自分の得たい情報をブラウザ画面の中から探し出し、そこをクリックするという定まったプロセスの課題となっている。そのため、目的の項目を探し出してクリックするという作業が分離試行パラダイムにおけるひとつの試行だとみなすことが可能である。

このとき、次に探索すべき項目を自分で探さなければならぬ場合（探索条件）と常に定められた同じ項目を選択するだけでよい条件（非探索条件）を設け、瞬目の発生を観察することによって、階層メニュー連続探索時の認知負荷を検討する。Figure 1 のメニュー探索のプロセスで考えると、探索条件では、走査、記号化、記憶照合のプロセスによる認知負荷が加わる。一方、非探索条件では、同様のプロセスが生じるものの、記号化や記憶照合は、探索条件に比べれば負荷が低いと考えられる。ここでの非探索条件は統制条件としての役割を果たす。階層化されたメニューの項目を探すことに認知負荷が高ければ、相対的に非探索条件よりも探索条件のほうが認知負荷による瞬目の抑制や発生が高くなることが予測される。つまり、メニュー項目の探索において認知負荷が高い場合、非探索条件より探索条件のほうが、相対的に探索時の瞬目の抑制と、探索解除後の多発が見られると

予測される。

方 法

実験参加者 学部大学生 15 名（男性 4 名、女性 11 名）。年齢 20～22 歳。実験者（22 歳の女性）の要請に応じ、口頭にて実験参加の承諾を得た者だけが参加した。ただし、記録した瞬目映像のデータにノイズがあったため、実際に分析対象に利用できたのは、10 名（男性 3 名、女性 7 名）である。

刺激・装置 WWW ブラウザ利用環境 WWW ブラウザを利用するが、その利用環境は次のようであった。コンピュータは、Macintosh Ilvi（Apple 社）を利用し、モニタとしては、13 インチの専用モニタ（Apple 社製）を用いた。マウスは純正の 1 ボタンマウスを用いた。OS は、漢字 Talk 7.1 で、WWW ブラウザは Netscape Ver.2.01 を用いた。Web サーバは立ち上げずに、ローカルなハードディスクに保存してある HTML ファイルを開くことで、ホームページを見る環境とした。

ホームページの内容 ホームページは練習用と実験用を用意した。実験に用いたホームページは、北海道の観光案内の内容で、今回の実験のために作成したものである。3 階層の構造をしており、第 1 階層には、地名メニューで北海道の 4 か所の地名（小樽、札幌、函館、富良野）が表示されている。地名の項目をクリックすると、その地名の第 2 階層のメニュー画面に変わる。第 2 階層は各地の名所メニューで、それぞれ 3 か所の名所が表示されている。名所の項目をクリックすると、その名所の第 3 階層の画面に変わる。第 3 階層にはその名所の説明文が 80 字程度で掲載されている (Figure 2)。したがって、1 ページ－4 ページ－12 ページという 3 階層となる (Figure 3)。上の階層に戻るには、ページ上に準備した「〇〇に戻る」のボタンのマウスクリックで行う。ただし、後述するが、非探索条件では、項目名や「〇〇に戻る」をクリックせずに、常に「NEXT」というアイコンをクリックするだけで前もって決められた次の画面に自動的に変わるようになっている。練習用は、内容を映画情報とし、同じ 3 層構造で 1-2-4 という構造で作成したものを利用した。

瞬目検出装置 瞬目の検出は、松尾・福田 (1996) の装置とほぼ同じ装置を構築した。眼は、小型 CCD カメラ (Toshiba IK-SM43H イメージセンサー 1/4 in.; レンズ JK-L04S 焦点距離 4 mm) を用いて撮影した。カメラと眼球の位置がずれないように、防塵用の透明ビニール製ゴーグルを装着し、その右枠部分に金属製の細長の板を取り付け、その先端にカメラを取り付け、実験参加者の眼を撮影することとした。なお、照明光の反射を避けるため、ゴーグルの透明パネルははずして行った。

Figure 2. 実験に用いたホームページの画面。「小樽」、「小樽運河」、「小樽のみどころに戻る」などの項目をクリックするとページが切り替わる。非探索条件では、「NEXT」アイコンをクリックするだけで、決められた順序の次のページに切り替わる。探索条件の場合、「NEXT」アイコンは表示されていない。左右の画面のタイトルの上にある黒いバーは、画面の切り替えを検出させるもの。

Figure 3. 実験に用いたホームページの階層構造。

WWW ブラウザ利用時のページの切り替えを検出するために、ホームページの上部に横長のバーを提示するようにした。このバーは、第1, 3階層では黒に、第2階層では白とし、ページが変わるたびに、白黒の反転が生じるようにした (Figure 2 参照)。コンピュータの画面はビデオカメラ (SONY CCDTRV20PK) で撮影した。このコンピュータ画面の上下反転映像と実験参加者の眼の映像をビデオミキサ (Futek Videonics MX-1) によって合成し、ビデオデッキ (Victor SR-S365) に録画した。録画した映像は、計測ユニット (浜松ホトニクス Percept scope C3160) を利用して、1/60 秒単位のサンプリングで映像を2値化した。2値化されたデータから、ページの切替えの部分と、実験参加者の眼の上瞼の変位データを検出させた。このデータをコンピュータ (NEC

PC9821Xn) に取り込んだ。データ取り込みのソフトウェアは、松尾・福田 (1996) が利用したものを用いた。

実験条件

実験参加者が行う課題は、用意されたホームページのメニュー階層を順番にたどっていき、すべてのページを読むことである。探索は、各メニューの項目を上から順番に3階層のページを入れ子式に連続的にたどっていく順序で固定した (Figure 3 参照)。

実験条件としては、下階層のページに移動する場合、次にたどる順番になる地名や名所を実験参加者が探してクリックする条件 (探索条件) とページの最下部に常時表示した「NEXT」というアイコンをクリックする条件 (非探索条件) の2つを設けた。前者は、自分で次の項目を探さなければならないが、後者ではどの段階において

も、常に同じ「NEXT」アイコンをクリックすればよい条件である。探索条件の場合、メニュー項目の上から順番に連続的に項目をたどっていくだけではあるが、上位のメニューに戻ったときにどの項目までたどり終えたのかを記憶していなければならない、それが認知負荷となる。何番目の項目までたどったかという位置を記憶しておくか、どの内容までたどり終えたのかという内容を記憶しておく必要がある。上階層に戻る場合、探索条件では、「〇〇に戻る」という項目をクリックし、非探索条件では「NEXT」アイコンをクリックする。したがって、非探索条件では、すべての場合において、ただ「NEXT」アイコンをクリックするだけですむ。

手続き

実験参加者は、実験の概要の説明を受けたあと、ゴーグルとカメラを装着された。実験参加者には、ホームページを順番にたどりながら音読していく課題であると教示した。音読させたのは、提示内容についてどの程度注意を向けるのかを何も教示しないと、実験参加者によって提示内容に対して注意の程度にばらつきが生じる可能性があるためである。まず、練習用のホームページで練習を行った後、実験用のホームページを操作した。各メニューの項目を上から順番に3階層を入れ子式にたどっていくため、操作するページは、地名メニュー4、名所メニュー16、説明文ページ12となり、合計32ページの操作を行う。

実験参加者には、ページ上に表示された全内容を音読させた。メニューが提示されているときは、探索条件では、選択する項目のみを読ませたが、非探索条件では、最初のメニュー提示のときのみ音読をさせた。ただし、最初のメニューではメニューの表題も読むよう教示した。教示と装置装着を含めてすべての実験を終了するのに、約10分要した。探索条件では4名、非探索条件では6名がデータの分析対象となった。したがって、実験計画としては、実験条件（探索・非探索）が被験者間要因となり、期間（後述）については被験者内要因の混合計画となる。

結 果

課題をすべて達成するのに要した全探索所要時間の平均は、探索条件で481.61秒 ($SD=48.97$ 秒)、非探索条件391.21秒 ($SD=67.87$ 秒)であった。条件間の平均の差には有意な傾向が見られた ($t=2.87$, $df=8$, $p<.10$)。また、誤探索数は、探索条件で0.5回 ($SD=0.6$ 回)、非探索条件で0.0回 ($SD=0.0$ 回)であった。なお、誤探索の部分（全被験者で2回）は、以下の処理からは省いた。

瞬目の同定は、松尾・福田(1996)で利用したプログラムを一部改良して行った。

各操作終了時の瞬目の発生の様子を調べるために、各ページに発生した瞬目をページ操作開始時の2秒間とその後の期間に分けて瞬目率を計算した。各ページ操作開始時の2秒間は、その前の操作の処理終了後の期間であると見なし、ただし、操作期間が2秒に満たない場合、その期間は前の操作終了後の期間と見なし、当該操作の期間はなかったものとした。そのような処理をしたのは全データの3.75%であった。2秒という時間は、Fukuda & Matsunaga (1983)のデータおよびマウスクリック後の画面切り替え時間を考慮して、瞬目抑制解除後の瞬目頻発期間に相当する時間として設定した。

ここでは、32ページの操作が8ページずつの4つのブロックによって構成されているものとして分析した。ブロックは、各地名（小樽、札幌、函館、富良野）に対応しており、それぞれ3つの名所が含まれるため、①地名メニュー→②名所メニュー→③説明文→④名所メニュー→⑤説明文→⑥名所メニュー→⑦説明文→⑧名所メニューの8つのページをたどることになる (Figure 4a)。メニュー (Menu) 操作を“M”、説明文音読 (Reading) を“R”と略記し、ページ番号 (①～⑧) を付加して、M①、M②、R③、M④、R⑤、M⑥、R⑦、M⑧と略記した (Figure 4b)。

さらに、前述のように、各期間内を最初の2秒とそれ以降の期間に分け、都合16の期間に分けた。最初の2秒は直前の期間の直後 (POST) の段階だと見なし、メニュー操作 (M) 後の次の2秒間を“PM (Post Menu)”、説明文音読 (R) 後の次の2秒間を“PR (Post Reading)”と表記することとし、16期間をPM1、M1、PM2、M2、PM3、R3、PR4、M4、PM5、R5、PR6、M6、PM7、R7、PR8、M8と略記した。この16の期間をフェーズと呼ぶことにする (Figure 4b)。ここでの数字は各ページに対応し、前に付加した記号は、どのような処理段階と見なしのかを表している。先頭のPM1は、前のブロックの最終メニューの直後の処理段階だと見なししている。

1ブロック内での操作の流れを見るために、ページごとに4つのブロックでの瞬目率の平均値を算出した。これを実験条件別に図示したのがFigure 5である。瞬目率は、実験参加者ごとに各フェーズの瞬目の総発生数を数え、そのフェーズの総時間で除すことによって算出した。

各ブロック (各地名) には3つの名所が出現するが、Figure 5を見ると、1番目の名所に関わる部分 (M2, PM3, R3) が2・3番目の名所の部分と違いが見られる。そのため、3名所 (1番目の名所、2番目の名所、3番目の名所) × 実験条件 (探索・非探索) の分散分析を行った。その際、名所メニュー選択時 (M2, M4, M6)、名所メニュー選択操作後 (PM3, PM5, PM7)、説明文音読時 (R3, R5, R7)、説明文音読後 (PR4, PR6, PR8) の4

Figure 4. (a) 実験参加者がページをたどる順序と (b) 8つの各ページの最初2秒を前の操作後の「POST」部分として切り分けて16フェーズに分割した場合の対応。いずれも、小樽名所を例として示した。

つの期間でそれぞれ分散分析を行った。

その結果、名所メニュー選択操作後では、名所と実験条件の間の交互作用に有意な傾向が見られた ($F=3.32$, $df=2/16$, $p<.10$)。単純主効果の検定の結果、探索条件において、名所の違いに有意な差が見られた ($F=5.45$, $df=2/16$, $p<.05$)。LSD法による多重比較の結果、

5%水準で1番目の名所 (PM3) が2・3番目の名所 (PM5, PM7) に比べ有意に大きかった。また、説明文音読時で、名所の主効果 ($F=4.37$, $df=2/16$, $p<.05$) および名所と実験条件の間の交互作用に有意差が見られた ($F=4.77$, $df=2/16$, $p<.05$)。単純主効果の検定の結果、探索条件において、名所の違いに有意な差が見られた

Figure 5. 操作時とポスト操作時（2 秒間）を分けた場合の瞬目率の時系列分布.

($F=8.82$, $df=2/16$, $p<.05$). LSD 法による多重比較の結果、5%水準で 1 番目の名所 (R3) が 2・3 番目の名所 (R5, R7) に比べ有意に小さかった。それ以外では有意な差は認められなかった。

これらの交互作用をまとめると、探索条件において名所の 1 番目のところで、メニュー操作後に瞬目が頻発し、説明文音読時に抑制されたということである。探索条件では、項目を探さなければならないため、最初の名所メニューで負荷が高くメニュー操作後に瞬目が頻発したことで交互作用が生じたと考えられる。説明文音読時の抑制も最初のところで瞬目が抑制されているのは、負荷が最初の段階では高かったためだと考えられる。

この Figure 5 全体を見ると、メニュー選択操作時 (M) にもっとも瞬目率が低く、メニュー選択操作後 (PM) にもっとも瞬目率が高くなり、以降、説明文音読時 (R)、説明文音読終了時 (PR) と瞬目率が低くなっている。そこで、これらのデータをメニュー操作 (M)、メニュー操作後 (PM)、説明文音読時 (R)、説明文音読終了時 (PR) の 4 つの期間にまとめた (Figure 6)。ここで、期間 (実験参加者内要因) × 実験条件 (実験参加者間要因) の 2 要因の混合計画の分散分析を行ったところ、期間の主効果に有意な差が見られたが ($F=3.27$, $df=3/24$, $p<.05$)、実験条件の主効果および交互作用には有意な差は見られなかった。また、LSD 法による多重比較では、メニュー操作後 (PM) とメニュー操作時 (M) の間およびメニュー操作後 (PM) と説明文音読終了時 (PR) に 5%水準で有意な差が認められた。このことは、メニュー操作後は、メニュー操作時および説明文音読終了時よりも、探索の有無にかかわらず、瞬目が多く生じたことを意味する。

考 察

本実験の結果では、課題達成時間においては条件間の差に有意な傾向が見られ、探索条件のほうが非探索条件

Figure 6. 4 つの期間に分類した場合の瞬目率の平均と標準偏差.

よりも認知負荷が高いことが示唆されたものの、瞬目率においては、探索条件と非探索条件で統計的に有意な差は見られなかった。これは、予測した結果とは異なるものである。しかし、両条件において、メニュー操作時に瞬目が抑制され、メニュー操作後に瞬目の頻発現象が見られた。これは、Fukuda & Matsunaga (1983) の分離試行手続きでも見られた処理抑制解除後の瞬目の頻発だと考えられる。すなわち、メニュー探索の認知負荷により生じた瞬目によるものと考えられる。さらに、説明文音読時に瞬目が抑制されたことは、読むという作業の認知負荷によるものと考えられる。また、3 つの名所メニューの間の比較では、探索条件において、最初のメニュー操作後 (PM3) で瞬目率が高く、最初の音読時 (R3) で瞬目率が低くなっていた。これらは、一連の課題の中でも場面によって認知負荷が変動していることを示している。

ただし、瞬目は、メニュー探索の認知負荷と読む作業の認知負荷要因以外にも、刺激の輝度変化、音読、マウス操作などに伴って発生することが考えられる。そのため、本実験でのメニュー操作後の瞬目の頻発が、相対的にこれらの要因によるものではなく、認知負荷によるものであることを確かめなければならない。以下に、その点の検討も含め、実験結果に対する考察を行う。

輝度変化に伴う瞬目 一般に瞬目は輝度による変化によって生じるため (田多 他, 1991)、本実験の結果についても輝度変化による影響も考慮しなければならない。輝度変化は、画面の切り替え時に瞬間的に生じる場合と、提示された文字や図形の黒の部分の面積 (画面は白か黒の 2 色しか提示していない) の違いによって生じる場合が考えられる。この実験課題では画面の切り替え時はおおよそ 0.5 秒程度の時間、ウィンドウ内の画面が白色となる。

実験の結果はポストメニューでの瞬目率が高くなっているが、これはちょうど画面の切り替え時に相当する。

しかし、これが画面の切り替え時の影響であるならば、PRの段階でも瞬目率が上昇してもいいはずである。ところが、そのような結果は認められていない。したがって、画面の切り替えによる影響は相対的に小さいものであったと考えられる。また、ページ切り替え検出用の横長バーおよび提示文字の白黒面積を比較すると、切り替え前後での変化は相対的に大きなものではなく、輝度変化による影響は小さいと考えられる。

音読時の瞬目 発声という作業が瞬目の頻度を増すことは知られており（たとえば、von Cramon & Schuri, 1980）、今回の実験のように音読させることによって、瞬目率が増加したことは予測される。また、説明文は2～3行にわたっているため、次の行に移るときや文節の後などにおいて、瞬目が誘発される可能性が考えられる。Hall (1945)は、紙に書かれた文書を読む際に、次の行に移る時に瞬目が発生することを報告している。また、Orchard & Stern (1991)は、CRT提示においても同様の事実があることを報告している。

ただし、実験の結果では、説明文音読時の瞬目率は他の期間に比較して高くなることはなかった。それは、全体として短い文章であり、全体的に瞬目率を高くするには至らなかったと考えられることと、後述する読みの認知負荷に伴う瞬目の抑制によるものと考えられる。

マウス操作に伴う瞬目抑制 マウスクリックでは目と手の協応動作が要求され、視覚的注意が求められ、瞬目が抑制される可能性がある。メニュー選択時に瞬目率が低下したのは、この要因によるものと考えられる。また、説明文音読を終了したときにもマウスクリックの操作は必要であり、同様の抑制が生じたことが考えられる。しかし、上記で述べた音読による瞬目の発生も生じているため、データ上では相殺されている。

読みの認知負荷に伴う瞬目の変化 読む作業段階では、文章を眼で追う走査処理、語句を記号化する処理、発声、マウスクリックの4つの処理プロセスがあると考えられる。走査、記号化の処理においては、認知負荷がかかっており、読みの段階(R)では瞬目が抑制されることが考えられる。発声については上記で述べたように瞬目の発生が考えられ、マウスクリックでは瞬目の抑制が生じている。走査、記号化の認知的作業による抑制があるため総合的に考えると、瞬目は抑制された形になっていると思われる(Figure 6)。3つの名所メニューにおける比較では、最初のメニューで瞬目率が低くなっていたのは、各地名での最初の段階での認知負荷が高くなっていることを示している。

ただし、読みの認知負荷による瞬目の抑制は、その作業終了後(PR)での瞬目の頻発という形では現れなかった。これについては、後述の行動の制御との関連で考察する。

探索の認知負荷に伴う瞬目の変化 本実験での探索条件では、地名や名所を定められた順番で選択しなければならない。その順番は上から順番であると教示されているが、説明文を読み終わってメニュー選択画面に戻ったときに、次に選択すべき項目がどれであるかについて、画面上には何も手掛りがない。次がどの項目であるかは、位置か内容かによって記憶しておかなければならない。メニュー項目を走査し、記号化し、記憶照合の処理プロセスが働いている。したがって、探索条件では、メニュー選択時(M)の負荷が高く、瞬目は抑制され、負荷解除後のポストメニュー(PM)での瞬目率が高くなることが予測された。実験の結果は、その予測を支持する結果となっている。

一方、非探索条件では、次にどの項目を選択すべきか探索する必要はなく、「NEXT」アイコンをクリックするだけでよい。走査、記号化、照合というプロセスは探索条件と同じように生じると考えられるが、「NEXT」だけの走査と記号化だけであり、照合も「NEXT」と固定された記号との照合であり、かなり自動化された処理プロセスになっていると考えられる。したがって、メニュー選択時(M)の負荷による瞬目の抑制はあまりなく、負荷解除後のポストメニュー(PM)での瞬目率もそれほど高くないことが予測された。Figure 6を見る限り、探索条件に比較すると、その傾向は相対的に低くなっているが、統計的には、探索条件との違いは見出されず、非探索条件でも相対的に負荷が低いわけではないことが示唆される。それは、非探索条件においても、メニュー選択時に瞬目が抑制され、操作後に瞬目が頻発しており、メニュー選択時の認知負荷が瞬目を抑制し、その解除によって瞬目が頻発したと考えられる。

行動制御と刺激の意味の違い 探索条件と非探索条件での違いが統計的に見出されなかったことは、探索作業に伴って瞬目の抑制が生じたのではなく、マウスクリックという視覚運動的な課題によるものという解釈も成り立つ。しかし、そうであるならば、説明文音読後のマウスクリックに伴う瞬目への影響が説明できない。非探索条件では、説明文音読後でも「NEXT」アイコンをクリックするだけでよく、この作業の負荷が瞬目の抑制をもたらしたのであれば、その直後の負荷解除に伴う瞬目が発生してもよいはずである。しかし、説明文音読後(PR)の瞬目率はメニュー選択後(PM)よりも統計的に低くなっており、負荷解除による瞬目が生じているとはいえない。

説明文音読の場合、主たる課題は文章を読むという課題で、マウスクリックは文章を読んだ後に付加的に行うだけにすぎない。課題終了後、元に戻るために行う作業である。一方、メニュー選択時のマウスクリックは、この後行うべき作業を選択する作業であり、記憶照合とい

うプロセスが必要となり、認知負荷の程度が異なることが予測される。しかし、非探索条件の場合、同じ「NEXT」アイコンをクリックするという作業であるにもかかわらず、メニュー選択時のマウスクリックの場合は認知負荷解除後の頻発が生じたが、説明文音読終了時のマウスクリックの場合は頻発が生じなかった。これは、前者の方が相対的に認知負荷が高かったからだと考えられる。それは、提示された刺激をどのような意味を持つものとして捉えたかの違いによると考えられる。

Fukuda & Matsunaga (1983) の実験では、反応をせず、刺激を見るだけの条件で、刺激の意味を知っていると、刺激呈示直後にピークが観察されている。ここでの意味とは、何をなすべきかを示す情報である。本実験においても、実験参加者は、定められた順番で探索していくことをあらかじめ知っているため、メニュー画面という刺激が探索をしなければならないという情報の意味を伝えることになり、それを見せられることによって、認知負荷がかかっていると考えることができる。

刺激の意味を知っているかどうかによって瞬目への影響が異なるのは、行動の制御の違いであろう。このような行動制御の違いは、ラスムッセン (1990) の SRK (Skill-Rule-Knowledge) モデルで説明できよう。ラスムッセンは、人間のパフォーマンスをスキルベース、ルールベース、知識ベースの3つに分類するだけでなく、各ベースで環境から得られる情報の役割が異なることを論じている。この捉え方は、本実験の結果から明らかになった刺激の持つ意味の違いと符合するところがある。スキルベースの場合、環境からは行動開始の刺激となるシグナルによって自動化された感覚運動パターンが引き起こされるが、ルールベースでは、次に何をすべきかの手掛かり刺激となるサインが入力され、それがルールベースでの処理となる。

説明文音読後では、画面上に次にどの項目をクリックすればよいかの手掛かりがあり、その手掛かりは、シグナルとして利用され、スキルベースの処理でマウスをクリックするだけでよい。つまり、説明文音読終了後でクリックすべき項目の刺激（「〇〇に戻る」や「NEXT」）は内容として意味あるものとして機能していない。ただ、そこをクリックする対象でしかなく、ここでのマウスクリックは、スキルベースの処理だと考えられる。

一方、メニュー選択時には、画面上の地名メニューや名所メニューが単なるシグナルではなく、サインとして入力され、それがルールベースでの処理となる。それらの刺激は、単にクリックする項目ではなく、次に探索しなければならない地名や名所という意味を持った内容であり、サインとしての刺激となっている。

これらのことは、3カ所の名所メニューでの比較の結果においても裏づけられる。探索条件の場合、最初の名

所メニューの段階において探索操作後に瞬目が頻発し、説明文音読時には抑制がなされていた。実験参加者が最初に名所メニューを見たときは、それが初めてであり、サインとしての意味を持つ。しかし、一度名所の説明文を読んだ後、名所メニューに再度戻ってきたときは、初見ではないため、サインというよりも、相対的にはシグナルに近いものとも思われる。そのため、最初の名所メニュー時は認知負荷が高かったものと考えられる。

提示されている刺激に対しての処理の違いが瞬目への変化という形で現れたのではないかと考えられる。逆に考えると、瞬目によって認知負荷がかかっていないと判断された場面では、かなりスキルベースで操作ができており、ある程度自動化された処理になっていると考えられる。このように瞬目を指標として認知負荷の程度を知ることが可能であることが見出された。

ま と め

本研究は、WWW ブラウザ利用時の瞬目を観察した。今回の実験では、実際にメニュー選択時に認知負荷がかかっており、目的のページ（今回は名所説明文のページ）にたどりつく、負荷が低減したということが、瞬目抑制とその解除による多発ということで明らかにされた。探索することよりも、次に選択すべき項目を選ぶ選択肢が提示されたことに対しすでに負荷がかかっている。実験のために作成したホームページの閲覧という限定された場面ではあるが、階層メニュー探索時における認知的処理過程を瞬目が反映しており、瞬目によって、その認知負荷が明らかになった。さらに精緻化した実験の検討が必要であるが、本研究によって階層メニューのユーザビリティを検討する上で、項目選択時の負荷についての生理的指標の基礎データを提供することができたと言えよう。

引用文献

- Card, S. K., Moran, T. P., & Newell, A. (1983). *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- von Cramon, D., & Schuri, U. (1980). Blink frequency and speed motor activity. *Neuropsychologia*, **18**, 603-606.
- DeStefano, D., & LeFevre, J. (2007). Cognitive load in hypertext reading: A review. *Computers in Human Behavior*, **23**, 1616-1641.
- Fukuda, K., & Matsunaga, K. (1983). Changes in blink rate during signal discrimination tasks. *Japanese Psychological Research*, **25**, 140-146.

- 福田恭介・山田富美雄・田多英興 (1990). 分離試行パラダイムに基づいた自発性瞬目研究の動向 生理心理学と精神生理学, **8**, 47-54.
(Fukuda, K., Yamada, F., & Tada, H. (1990). A review of psychological studies about spontaneous blinks using the discrete trial paradigm. *Japanese Journal of Physiological Psychology and Psychophysiology*, **8**, 47-54.)
- Hall, A. (1945). The origin and purpose of blinking. *British Journal of Ophthalmology*, **29**, 445-467.
- 小松原明哲 (1991). 単層階層メニュー選択システムにおけるグループサイズ的设计方法について 人間工学, **27**, 73-82.
(Komatsubara, A. (1991). Ergonomics design of group size on single-but group-structured menu retrieval system. *The Japanese Journal of Ergonomics*, **27**, 73-82.)
- MacGregor, J. N., & Lee, E. S. (1987). Performance and preference in videotex menu retrieval: A review of the empirical literature. *Behaviour and Information Technology*, **6**, 43-68.
- McDonald, S., & Stevenson, R. J. (1996). Disorientation in hypertext: the effects of three text structures on navigation performance. *Applied Ergonomics*, **27**, 61-68.
- 松尾太加志 (1999). コミュニケーションの心理学—認知心理学・認知工学・社会心理学からのアプローチ— ナカニシヤ出版.
(Matsuo, T.)
- 松尾太加志・福田恭介 (1996). ビデオ画像記録による瞬目自動解析システムの開発 生理心理学と精神生理学, **14**, 17-21.
(Matsuo, T., & Fukuda, K. (1996). A development of automatic analyzing system of eyeblinks recorded in the video image. *Japanese Journal of Physiological Psychology and Psychophysiology*, **14**, 17-21.)
- Norman, K. (1991). *The Psychology of Menu Selection: Designing Cognitive Control at the Human/Computer Interface*. Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation.
- Ohira, H. (1996). Eyeblink activity in a word-naming task as a function of semantic priming and cognitive load. *Perceptual and Motor Skills*, **82**, 835-842.
- Orchard, L. N., & Stern, J. A. (1991). Blinks as an index of cognitive activity during reading. *Integrative Physiological and Behavioral Science*, **26**, 108-116.
- ラスムッセン, J. 海保博之・加藤隆・赤井真喜・田辺文也(訳) (1990). インタフェースの認知工学—人と機械の知的かかわりの科学—啓学出版.
(Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction: An approach to cognitive engineering*. Elsevier Science Publishing.)
- Stern, J. A., Walrath, L. C., & Goldstein, R. (1984). The endogenous eyeblink. *Psychophysiology*, **21**, 22-32.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, **10**, 251-296.
- 田多英興・山田富美雄・福田恭介(編) (1991). まばたきの心理学 北大路書房.
(Tada, H., Yamada, F., & Fukuda, K.)
- Yamada, F. (1998). Frontal midline theta rhythm and eyeblinking activity during a VDT task and a video game: useful tools for psychophysiology in ergonomics. *Ergonomics*, **41**, 678-688.
- (2007年6月15日受稿, 2008年2月25日受理)